

甘肃黑山铜镍硫化物含矿岩体橄榄石成因探讨

颀 炜^{1,2}, 宋谢炎^{1*}, 邓宇峰¹, 陈列锰¹

1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002

2. 中国科学院广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640

黑山含铜镍硫化物矿床镁铁-超镁铁质岩体位于中亚造山带南缘北山褶皱带东部(如图 1)。以国内标准划分, 黑山铜镍硫化物矿床 Ni 储量达到大型, Cu 储量小型, 平均品位: Ni 0.6%、Cu 0.27%, 其中以 1 号和 4 号矿体规模最大。我们通过锆石 U-Pb 年龄 (~357 Ma), 以及具有 MORB 和岛弧双重特征的微量元素、Sr-Nd-Pb 同位素和单斜辉石的研究表明黑山岩体形成于板块俯冲环境, 并与俯冲板片拆离、软流圈上涌有关 (Xie et al., 2012)。因此, 对该岩体的研究有助于正确理解造山带型铜镍硫化物矿床的成矿作用。

详细的野外基础地质特征表明黑山矿区仅出露单一的新元古代青白口系地层, 无寒武纪地层出露, 这些青白口系地层在矿区内构成一大的背斜—黑山背斜。黑山含矿岩体平面上呈“鸭梨”状, 岩体长约 800 m, 宽约 470 m, 地表出露面积仅约 0.25 km², 总体产状为向南西倾斜的岩株状单斜岩体, 向地下延伸>800 m。由早期的方辉橄榄岩、二辉橄榄岩和橄榄辉长苏长岩, 以及稍晚期的辉长岩脉组成。黑山岩体就位于黑山背斜南翼, 直接围岩为大豁落山群上岩组的绢云硅质板岩和白云质大理岩。其初始产状应为一水平或近水平的岩体, 因后期褶皱作用, 岩体发生了倾斜形成现今的产状。

方辉橄榄岩主要由橄榄石 (40~75 % Ol)、斜方辉石 (15~40% Opx) 和少量斜长石 (<10% Pl)。随着橄榄石和斜方辉石含量的降低, 单斜辉石 (Cpx) 的出现, 岩体从下至上逐渐变为二辉橄榄岩 (35~60% Ol, 20~30% Opx, 10~25% Cpx, <10% Pl), 到岩体顶部过渡为橄榄辉长苏长岩。橄榄石一般呈自形或浑圆状, 粒径 0.5~3 mm, 通常呈粒状镶嵌结构, 或被斜方辉石和单斜辉石包裹呈包橄结构, 又或者被硫化物包裹; 斜方辉石和单斜辉石多呈半自形或他形, 粒度大, 可包裹一个或多个橄榄石; 斜长石呈半自形长板状产出, 聚片双晶和卡纳复式双晶常见; 方辉橄榄岩和二辉橄榄岩中还含有少量的含水矿物 (角闪石 Hbl 和黑云母 Bt, Hbl+Bt=5~10%), 黑云母多呈片状, 角闪石多以辉石反应边出现。根据镜下观察可知各矿物的大致结晶顺序为: Cr-spinel → Ol → Opx → Cpx → Pl → Hbl+Bt。中粗粒辉长岩脉, 与黑山超镁铁质岩呈侵入接触关系, 主要分布在岩体的西南缘。辉长岩脉在形态上呈脉状侵入到黑

* 资助项目: 本研究受国家自然科学基金 (41172090, 41003022) 和矿床地球化学国家重点实验“十二五”项目群 (SKL0DG-ZY125-06) 资助

第一作者简介: 颀炜, 男, 1985 年生, 博士后, 地球化学专业。E-mail: Ni-Cu-PGE@QQ.com

通讯作者: 宋谢炎, 男, 1962 年生, 研究员, 岩石与矿床地球化学专业。E-mail: songxieyan@vip.gyig.ac.cn

山超镁铁质岩体中，并且从中心到边缘，矿物结晶粒度从大变小，结构由辉长结构转变为辉绿结构，局部还发育辉长岩脉冷凝边。这些现象表明辉长岩脉的形成应稍晚于黑山超镁铁质岩体。

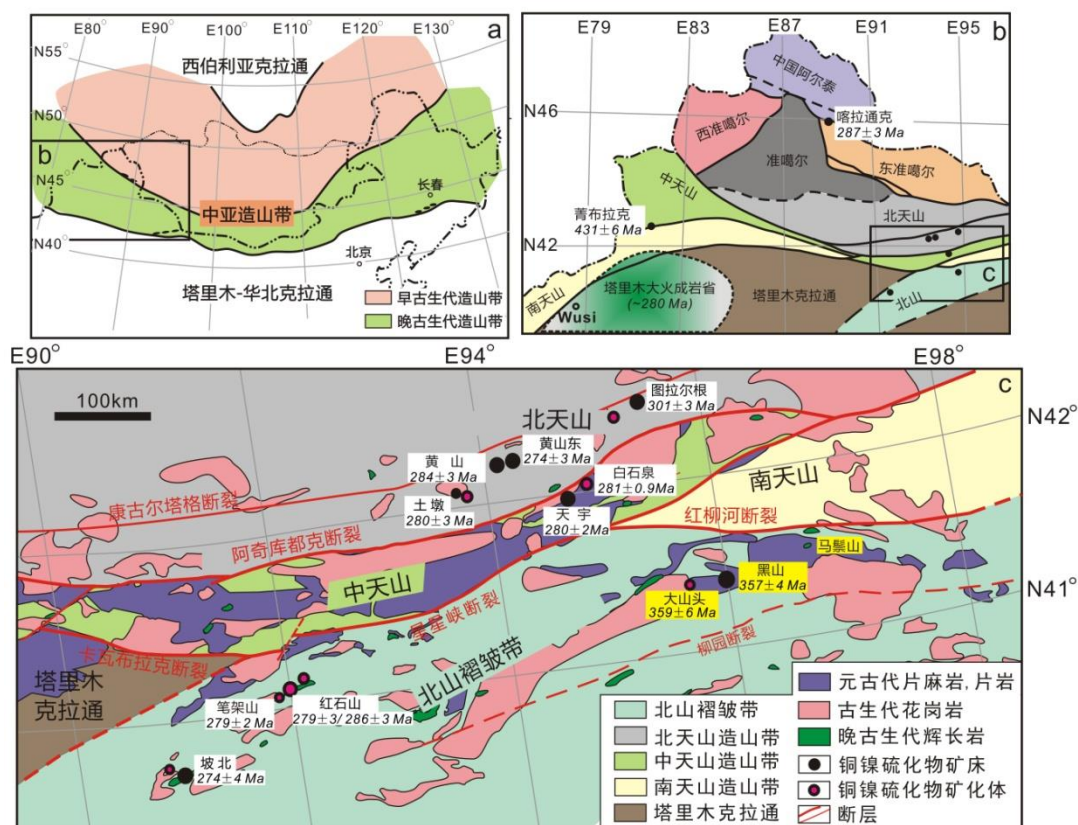


图 1 a) 中亚造山带 (CAOB) 地质略图 (据 Song and Li, 2009 修改); b) 新疆及邻区构造略图; c) 北山褶皱带及邻区地质简图 (据甘肃省区域地质志, 1989; 新疆维吾尔自治区区域地质志, 1993 修改)

黑山岩体中橄榄石 Fo 值为 80.5~87%，属贵橄榄石，其 Ni 含量为 1070~3461 ppm。在 Xie et al. (2012) 计算的黑山母岩浆基础上，利用该母岩浆成分 MgO、FeO、SiO₂ 等成分以及辉长岩冷凝边的 Cr₂O₃、NiO 等成分，借助“MELTS”软件，我们进一步厘定了黑山母岩浆为高镁玄武岩浆 (12.81% MgO, 10.84% FeO, NiO 0.055%)。计算结果稍高于 Xie et al. (2012) 计算的母岩浆成分 (11.3% MgO, 10% FeO) 以及辉长岩脉冷凝边的成分 (12.7% MgO, 8.35% FeO, 0.038% NiO)，但稍低于 Barnes et al. (in press) 提出的高镁玄武岩岩浆成分 (14% MgO, 12% FeO, 0.06% NiO)。黑山橄榄石的主要控制因素为：1) 母岩浆的成分；2) 后续新鲜岩浆的补充混合作用；3) 硫化物熔离作用；4) 晶间硅酸盐熔浆作用；5) 橄榄石与硫化物之间发生的 Fe-Ni 交换。模拟计算表明，硫化物熔离与橄榄石结晶几乎同时发生，橄榄石与硫化物的最小质量比约为 20:1。1 号矿体及矿化体的橄榄石比 4 号矿体更富 Mg 和 Ni，并且还呈现非常好的

负相关关系，表明这些橄榄石与硫化物发生了不同程度的 Fe-Ni 交换，而与其发生 Fe-Ni 交换的硫化物更富 Ni 以及共生的岩浆更为原始。这很可能是因为黑山岩体形成于开放的岩浆通道系统，早期融离的硫化物与后续的新鲜的硫不饱和岩浆发生反应，使得该类硫化物含量减少但硫化物中的金属元素含量增高从而形成 1 号矿体及矿化体所导致的。

主要参考文献:

- Asimow PD and Ghiorso MS. 1998. Algorithmic modifications extending MELTS to calculate subsolidus phase relations. *American Mineralogist*, 83: 1127–1132.
- Barnes, S.J., Godel, B., Güreş, D., Brenan, J.M., Robertson, J., and Paterson, D. in press. Sulfide-olivine Fe-Ni exchange and the origin of anomalously Ni-rich magmatic sulfides. *Economic Geology*.
- Ghiorso MS and Sack RO. 1995. Chemical transfer in magmatic processes IV. A revised and internally consistent thermodynamic model for the interpolation and extrapolation of liquid solid equilibria in magmatic systems at elevated temperatures and pressures. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 119: 197–212.
- Smith PM and Asimow PD. 2005. Adibat_1ph: a new public frontend to the MELTS, pMELTS, pHMELTS models. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 6, no.Q02004, doi: 10.1029/2004GC000816.
- Xie W, Song XY, Deng YF, Wang YS, Ba DH, Zheng WQ, and Li XB. 2012. Geochemistry and petrogenetic implications of a Late Devonian mafic-ultramafic intrusion at the southern margin of the Central Asian Orogenic Belt. *Lithos*, 144–145: 209–230.
- 颀炜, 宋谢炎, 聂晓勇, 程松林. 待刊. 新疆坡十铜镍硫化物含矿岩体岩浆源区特征及构造背景探讨. *岩石学报*.